

(12) SOLICITUD INTERNACIONAL PUBLICADA EN VIRTUD DEL TRATADO DE COOPERACIÓN
EN MATERIA DE PATENTES (PCT)

(19) Organización Mundial de la Propiedad
Intelectual
Oficina internacional



(43) Fecha de publicación internacional
9 de Septiembre de 2005 (09.09.2005)

PCT

(10) Número de Publicación Internacional
WO 2005/082553 A1

(51) Clasificación Internacional de Patentes⁷: **B09C 1/08**

(21) Número de la solicitud internacional:
PCT/MX2005/000013

(22) Fecha de presentación internacional:
24 de Febrero de 2005 (24.02.2005)

(25) Idioma de presentación: español

(26) Idioma de publicación: español

(30) Datos relativos a la prioridad:
YU/a/2004/000001
27 de Febrero de 2004 (27.02.2004) MX

(71) Solicitante: **UNIVERSIDAD JUAREZ AUTONOMA
DE TABASCO [MX/MX]**; Av. Universidad s/n Zona de
la Cultura, Centro, Villahermosa, Tabasco 86040 (MX).

(71) Solicitante e

(72) Inventor: **ADAMS, Randy Howard [US/MX]**; Carlos
Greene 2732-1 Atasta, Villahermosa, Tabasco 86100
(MX).

(74) Mandatario: **ALVAREZ GARCIA, Yazmín Isolda**;
Paseo del Paque no.24 Fracc.Prados de Villahermosa,
Villahermosa, Tabasco 86030 (MX).

(81) Estados designados (a menos que se indique otra cosa,
para toda clase de protección nacional admisible): AE,
AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ,
EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID,
IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT,
LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI,
NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG,
SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US,
UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) Estados designados (a menos que se indique otra cosa,
para toda clase de protección regional admisible): ARIPO
(BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ,
UG, ZM, ZW), euroasiática (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD,
RU, TJ, TM), europea (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,
EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL,
PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI,
CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Declaración según la Regla 4.17:

— sobre el derecho del solicitante para solicitar y que le sea
concedida una patente (Regla 4.17(ii)) para todas las de-
signaciones

Publicada:

— con informe de búsqueda internacional

Para códigos de dos letras y otras abreviaturas, véase la sección
"Guidance Notes on Codes and Abbreviations" que aparece al
principio de cada número regular de la Gaceta del PCT.

(54) Title: **CHEMICAL-BIOLOGICAL STABILIZATION PROCESS FOR REPAIRING SOILS AND CUTTINGS CONTAMI-
NATED WITH OILS AND PETROLEUM DERIVATIVES**

(54) Título: **PROCESO DE ESTABILIZACION QUIMICA-BIOLOGICA PARA LA REMEDIACION DE SUELO Y RECORTES
CONTAMINADOS CON ACEITES Y DERIVADOS DEL PETROLEO**

(57) Abstract: The invention describes a process used in the repair of soils and oil drilling wastes contaminated with hydrocarbons, involving stabilization by applying and mixing specific proportions of calcium oxides and organic conditioners. It is possible to treat materials with concentrations of at least seven percent (based on dry weight) of total petroleum hydrocarbons (TPH) and to reduce concentration to 1-1.5 % TPH. Furthermore, residual toxicity is completely eliminated in the treated material, plant growth is stimulated, there are no significant lixivates of hydrocarbons and all criteria in order not to be considered a harmful waste (CRETI orTCLP) are met.

(57) Resumen: La presente invención describe un proceso utilizado para la remediación de suelos y desechos de perforación petrolera contaminados con hidrocarburos que consiste en la estabilización por la aplicación y mezclado en proporciones específicas de óxidos de calcio y acondicionadores orgánicos. Es posible tratar materiales con concentraciones de por lo menos siete por ciento (base peso seco) de hidrocarburos totales de petróleo (HTP) y reducir la concentración a 1 - 1.5 % HTP. Además, se elimina completamente la toxicidad residual en el material tratado, se estimula el crecimiento vegetal, no presenta lixiviados significativos de hidrocarburos, y pasa. todos los criterios para no ser considerado como un desecho peligroso (CRETI oTCLP).

WO 2005/082553 A1

PROCESO DE ESTABILIZACION QUIMICA-BIOLOGICA PARA LA
REMEDIACION DE SUELO Y RECORTES CONTAMINADOS CON ACEITES
Y DERIVADOS DEL PETROLEO.

ANTECEDENTES

5 En la Región del Golfo de México se ha generado una gran industria de
producción y refinación de hidrocarburos. Relacionado a esta industria es la
producción de desechos aceitosos de exploración y producción, sobre todo los
recortes de perforación contaminados con los lodos de perforación, típicamente
conteniendo diesel residual, utilizado en la formulación de los lodos para la
10 perforación de pozos.

Por otra parte, esta región experimenta muchos derrames por tubería
corroída. Existen algunos campos petroleros con alrededor de cincuenta años de
antigüedad. Muchos de estos están en zonas pantanosas o en manglares u otras
selvas inundables. Desde que se instalaron los ductos para conectar los pozos
15 individuales a baterías de separación, hasta las petroquímicas y refinerías, no se
apreciaba la corrosión anaerobia y como resultado muchos ductos están corroídos y
derramándose. Últimamente, Petróleos Mexicanos está instalando tuberías con
protección, o de materiales no corrosibles para afrontar este problema. Los tipos de
suelos más comúnmente afectados son de zona baja, este tipo de suelo presenta
20 altos contenidos de materia orgánica y arcilla. Algunos sitios contaminados se
encuentran en la planicie costera reciente, entre suelo arenoso. Aunque el número
de estos últimos sitios es menor, es más preocupante su contaminación en términos
del probable impacto a acuíferos, debido a su alta permeabilidad.

Además de derrames crónicos causados por corrosión en los campos de
25 producción, Petróleos Mexicanos en el área de refinación maneja aproximadamente
13 mil kilómetros de ductos en el país que frecuentemente sufre derrames debido a
tomas clandestinas, sobre todo en las líneas entre Minatitlán, Veracruz y el Estado
de Puebla.

También existen varios "tiraderos" de desechos aceitosos semisólidos en la
30 región. Debido a las características climatológicas de la región del Golfo de México
(sobre todo la alta precipitación), no está permitido manejar confinamientos

industriales en la región, como los que se encuentran en otras partes de la República, como en Mina, N. L. (vea Bremer, 1995 y la Norma Oficial Mexicana NOM-CRP004-ECOL/1993). Debido a esta limitación, así como la generación de grandes cantidades de desechos aceitosos resultado de lodos de perforación, vegetación pantanosa y suelos contaminados por derrames, lodos de sistemas para el tratamiento de agua residual en petroquímicas y refinerías, los distritos petroleros usaban anteriormente presas de pozos petroleros para confinamiento. Regularmente, usaban la presa principal de desechos de un pozo petrolero que nunca produjo petróleo, o un pozo antiguo que no produce y que está tapado. Estas presas nunca fueron diseñadas para recibir las cantidades de desechos que se colocan en ellas y muchas no son construidas de materiales impermeables. Muchas veces se terminaba todo el espacio en la presa pero se seguía depositando desechos en el sitio, sobre la "pera" (plataforma de relleno), al lado de la presa. Este manejo inadecuado de desechos frecuentemente resultaba en escurrimientos e infiltraciones de hidrocarburos al medio ambiente cercano.

Además de las fuentes antes mencionadas, existen varias descargas de petroquímicas y refinerías. Muchas de estas tenían sistemas antiguos de tratamiento de aguas residuales de tipo API (del "American Petroleum Institute") que separan las fracciones más densas y menos densas del agua por gravedad. Generalmente no eran adecuados para controlar la cantidad de aceite que pasa en el flujo, resultando la contaminación de áreas aledañas a estas descargas, comúnmente a pantanos, canales, ríos o lagunas. Estas aguas regularmente contienen sales de los yacimientos de petróleo, en adición a los hidrocarburos, lo que puede afectar adversamente a los pantanos y cuerpos de agua.

En esta región es difícil determinar con exactitud la extensión de terreno contaminado debido a los intereses políticos y económicos en la región, la exageración y confusión en que se encuentran. En los últimos años se ha ido politizando el tema de "la contaminación" y existe toda una "industria de la reclamación". Solo en Tabasco, Beltrán (1993) reporta que hay aproximadamente 7,200 hectáreas afectadas, de ellas más del 90% están en pantanos o zonas inundables. Más recientemente, Petróleos Mexicanos, con apoyo del Instituto

Mexicano del Petróleo ha identificado aproximadamente 300 hectáreas contaminadas en el estado y 178 presas contaminadas con desechos aceitosos que se proyectaron para restauración (LaJous, 1997). Mucha de esta diferencia se podría atribuir a la definición de "áreas contaminadas", y los criterios usados para
5 determinarla.

Los niveles de contaminación varían mucho según las fuentes de hidrocarburos y la antigüedad de las instalaciones petroleras. En el extremo
occidente del estado de Tabasco, donde la mayoría de las instalaciones son más antiguas, algunas alrededor de 50 años, es común tener derrames de hidrocarburos
10 de tubos corroídos. Por lo general la extensión de un derrame es una mancha de aproximadamente 5 hectáreas, en la cuál la concentración de hidrocarburos puede ser hasta de 30 % (Rodríguez, 1997).

En las zonas de actividad petrolera más reciente, por ejemplo en el norte y noreste del estado de Tabasco, las técnicas usadas para cuidar el medio ambiente
15 fueron mejorando a través de los años. En esta zona los ductos son más nuevos, y muchos tienen recubrimientos para reducir la corrosión. Debido a esto, los derrames por corrosión de líneas es mucho menor. Además de esto, el diseño, construcción, y manejo de presas de desechos fue mejorando y se encuentran mucho menos problemas por filtraciones y escurrimientos (Vinalay, 1998). En esta
20 parte del estado es raro encontrar zonas con manchas obvias de aceite. Cerca de pozos petroleros la extensión de hidrocarburos es normalmente menor de una hectárea y con concentraciones menores de 1000 ppm HTP (Hidrocarburos Totales de Petróleo, Domínguez, 1998).

Cabe mencionar que la nueva política de Petróleos Mexicanos es no dejar
25 desechos aceitosos en presas durante la perforación de pozos. Cuando entra a la fase de perforación que requiere lodos de tipo inverso, estos se reciclan todo lo posible; los lodos ya gastados y los recortes contaminados se depositan en una presa de concreto con techo de lámina o en contenedores. Periódicamente estos desechos son recolectados para tratamiento en un sitio céntrico a varios pozos. Sin
30 embargo, existen muchas áreas contaminadas por las prácticas históricas del siglo pasado.

Además de las actividades antes mencionadas relacionadas a la exploración, producción y refinación del petróleo, también existen varios sitios en la república mexicana contaminados por el uso inadecuado de los productos derivados del petróleo. Entre estas se incluyen derrames de combustibles y lubricantes en las
5 grandes áreas industriales dedicadas a la manufactura de bienes, tales como se encuentra en México, D. F., el Estado de México, Monterrey, NL., Saltillo, Coahuila, Guadalajara, y varias áreas en la región del Bajío, entre otros.

Además, se debe de considerar los derrames en las plantas termoeléctricas del país, las estaciones y talleres de camiones y ferrocarriles, los aeropuertos y
10 puertos marítimos por su uso de grandes volúmenes de lubricantes y sobre todo combustibles.

Es importante buscar soluciones tecnológicas apropiadas a las condiciones características del país, en términos climáticos, sociales y económicos. En este contexto se debe recalcar el valor de desarrollar tecnologías de remediación como
15 alternativas para la recuperación de ecosistemas y agroecosistemas impactados, y para evitar problemas de riesgo a la salud. Sin embargo, hoy en día casi todas las tecnologías utilizadas para la remediación de suelo contaminado o tratamiento de recortes de perforación son del extranjero, y requieren la importación de conocimientos, materiales, reactivos, y a veces hasta maquinaria y personal. Esta
20 situación tiene como consecuencia el incremento en costos, crea dependencia del extranjero, y aún muchas de estas tecnologías no son adecuadamente implementadas. Varias veces ha sido necesario re-concurrar proyectos de remediación debido al incumplimiento de contratistas o por falta de proveedores competentes de realizar las obras solicitadas adecuadamente, causando demoras e
25 incrementado los gastos administrativos relacionados a la remediación. Por otra parte, es común que el mal manejo de las tecnologías importadas resulta en infertilidad de los suelos tratados. Por estas razones la efectividad es frecuentemente reducida, y las empresas contratistas de remediación tienen mucha dificultad en alcanzar las metas establecidas por su cliente (Petróleos Mexicanos) y las
30 autoridades ambientales.

A continuación se presentan las tecnologías de remediación más utilizadas en la región:

Confinamiento

Consiste en la excavación de materiales contaminados y la colocación de ellos en un sitio preparado para su disposición final, tal sitio cuenta con una serie de controles de ingeniería como son membranas, fosas de lixiviadas, pozos de monitoreo, etc., que asegura que el material contaminado jamás estará en contacto con receptores ecológicos. Es importante seleccionar un sitio adecuado para colocar este tipo de remediación, siendo de poca precipitación, con horizontes geológicas que reducen posibles migraciones, profundidad de cientos de metros hasta un acuífero, sin actividad sísmica y afuera de los trayectos de huracanes y tormentas tropicales. Estas condiciones existen en pocas áreas del país, siendo uno de sus principales limitantes. Actualmente hay un solo sitio (en Mina, N.L.) de este tipo a nivel nacional, lo que implica el transporte a grandes distancias de materiales contaminados, prácticamente duplicando en costo.

Reuso-Reciclamiento

En estos tipos de tecnologías el material contaminado es reutilizado para otro fin, típicamente para la construcción. Los recortes de perforación han sido incorporados como materia prima en la fabricación de cemento y ladrillos; en el proceso los hidrocarburos son incinerados. El principal limitante de esta tecnología es el mercado local para estos materiales, que reduce la cantidad de materiales que una planta cementera o de ladrillos puede recibir y tratar. Otra aplicación de esta tecnología ha sido la producción de la base estructural de caminos rurales, o estacionamientos, utilizando como materia prima suelo u otros materiales extremadamente contaminados con aceite, en campos petroleros cerca de Poza Rica y en la Refinería Lázaro Cárdenas (Minatitlán, Veracruz). Esta tecnología es apropiada solo para materiales muy contaminados, los que contienen aproximadamente 30 % o más de hidrocarburos, y en donde los hidrocarburos son de un tipo con mucha viscosidad. No es aplicable para la mayoría de derrames o recortes de perforación.

Incineración

En la incineración los materiales a tratar pasan por una banda a un horno comúnmente rotatorio, "rotaray kiln", en donde se calientan a temperaturas mayores de 800 °C para quemar completamente todos los contaminantes orgánicos. El residuo es la fracción mineral del suelo y algunas cenizas; se queman todas las sustancias orgánicas. Es efectivo para tratar suelo con cualquier tipo de contaminante orgánico incluyendo petróleo crudo viscoso, PCBs, dioxinas, clorofenoles, y muchos plaguicidas. Sin embargo, el costo es alto. En el extranjero es aproximadamente de \$100 a \$500 dólares por tonelada de suelo tratado. El material resultante no tiene fertilidad. Para uso en cultivos, pastizales, o refugio natural, es necesario agregar abonos y realizar una recuperación de la estructura del suelo, incrementando más aún el costo de la tecnología. Ha habido un solo proyecto de remediación con esta tecnología en el sur del país, en el campo Cinco Presidentes (Tabasco). Durante el proyecto tuvieron problemas con el alto contenido de humedad y materia orgánica en el suelo a tratar, y tuvieron que repasar varios baches del material por el horno más de una vez, incrementando el costo. Además, se tuvo problemas en mantener funcionando el equipo debido a las costumbres laborales locales, a la falta de disponibilidad en refracciones y al personal capacitado. Debido a esta experiencia fue descartada como una tecnología de remediación por parte de PEMEX Exploración y Producción, Región Sur.

Desorción Térmica

En esta tecnología los materiales a tratar pasan por una banda a un horno en donde se calientan, pero solo hasta la temperatura de volatilización, no incineración. Se colectan los vapores en una campana de extracción y son incinerados en un horno más pequeño a una temperatura alta, o tratado por otro proceso como condensación, o reuso, entre otros. Se reduce la masa a incinerar, los vapores en vez de todo el material, reduciendo los gastos energéticos. El proceso es menos costoso que incineración y compete con otras tecnologías en términos de costo para volúmenes pequeños. Es efectivo para contaminantes orgánicos volátiles y semivolátiles: recortes de perforación, suelo contaminado con gasolina, diesel, petróleo crudo ligero o mediano. El material tratado aún conserva algo de fertilidad;

la mayoría de la materia orgánica del suelo no se quema. Sin embargo esta tecnología es complicada en la región del Golfo de México por el alto contenido de humedad en el suelo, lo que implica mayor gasto de energéticos para su calentamiento. Por otra parte, el equipo es importado, y por lo cual representa
5 problemas logísticos para conseguir refracciones y personal capacitado en su implementación, todo esto incrementa el costo de su operación. De igual manera, no hay equipos móviles en la región, necesitando el transporte de materiales contaminados a un centro de tratamiento y el asociado costo del transporte.

Oxidación Química

10 Esta tecnología depende de una oxidación parcial de los hidrocarburos y fracción mineral con oxidantes no específicos. En algunos métodos se mineraliza una parte de los hidrocarburos. En otros se unen las fracciones de hidrocarburos y minerales oxidados para estabilizar el material. Se maneja la dosificación, pH, homogeneización y maduración de la mezcla. Típicamente, resulta en una reducción
15 en la concentración de hidrocarburos de solo 60 – 70 %, siendo inadecuado para el tratamiento de materiales con concentraciones elevadas. Comúnmente los reactivos agregados son tóxicos y dan como resultado problemas con el suelo, e incluso la infertilidad. La mayoría de las tecnologías de oxidación química dependen de la importación de reactivos haciendo más costa la remediación.

20 Estabilización Química

En la estabilización química se agregan reactivos químicos que resultan en reacciones puzolánicas en el material a tratar, a veces agregando otros tipos de materiales para mejorar la fijación como polímeros, cenizas, sílice, agentes hidrofobilizantes, etc. El uso de químicos, sobre todo óxidos de calcio que provocan
25 reacciones puzolánicas, es una practica utilizada en la industria de la construcción para dar firmeza a materiales blandos, permitiendo la construcción de caminos, edificios, etc. encima de ellos. Internacionalmente, se ha utilizado esta tecnología para la estabilización de materiales contaminados, pero en general en concentraciones relativamente bajas. En México, no es utilizada actualmente para la
30 remediación o tratamiento de desechos.

Microencapsulación

En la microencapsulación se separan las fases de aceite libre y agua y sedimento por separadores de gravedad, similar a un API. El sedimento recuperado es mezclado en liquido con un surfactante catiónica, formando micelas de surfactante y contaminante orgánico. Se aplica una solución de silicatos o carbonatos que precipitan sobre los núcleos de cationes en las micelas formando granitos de silicatos con una consistencia de arena. No funciona bien para suelos orgánicos pero sí para suelos minerales con un porcentaje menor a 10 % de orgánicos en total. El material puede presentar problemas a temperaturas altas mayores a 40 °C y se tiene que cuidar este aspecto. Es muy importante la homogeneización y dosificación de reactivos. Es efectivo para todo tipo de contaminante orgánico y hasta materiales contaminados ligeramente con metales. Los reactivos consumidos son mayormente de importación. En el sur del país se ha tenido dificultad implementando esta tecnología debido a que requiere mucho cuidado en los detalles en su aplicación. Generalmente, la población regional no es detallista y se ha presentado problemas en las mezclas de materiales, frecuentemente teniendo que tratar un bache de material más de una vez para poder descontaminarlo, reduciendo la eficiencia del proceso, e incrementando costos. Esta tecnología ha sido abandonado por PEMEX Exploración y Producción, Región Sur debido a estos problemas, pero sigue siendo utilizado de manera limitada por la Zona Marina para el tratamiento de recortes de perforación.

Biorremediación

La biorremediación emplea microorganismos nativos o introducidos que consumen contaminantes orgánicos, reduciendo su concentración. Se maneja las condiciones de humedad, nutrición, aireación, y mezcla para optimizar la actividad microbiana. Es una tecnología relativamente económica pero es tardada, requiriendo una mezcla constante del material en tratamiento para mantener condiciones aerobias. Además, requiere de espacios amplios para su tratamiento. Sin embargo, debido a que el costo es relativamente bajo en comparación con otras tecnologías de remediación físico-químico, es una de las tecnologías más utilizadas en el sur del país.

Degradación Bioquímica

El tratamiento por degradación bioquímica, consiste en la aplicación y mezcla de diferentes reactivos en presas de desechos para promover una serie de reacciones químicas y biológicas. Comúnmente se inicia el tratamiento aplicando un surfactante a los recortes para movilizar los hidrocarburos y hacerlos más disponible para un tratamiento posterior. Si se libera una cantidad de aceite significativa como fase libre en este tratamiento, es colectado en la superficie. Posteriormente, se aplica un oxidante como peróxido de hidrógeno para oxidar parcialmente los hidrocarburos. Finalmente, se agrega nutrientes inorgánicos y "catalizadores orgánicos" como estiércol y se mezcla el material para proveer la biodegradación. Todas estas operaciones son realizadas con excavadoras o dragas, mezclando los materiales secuencialmente en las mismas presas en donde están colocados los recortes de perforación u otros desechos. Esta tecnología tiene la ventaja sobre otras tecnologías porque no se tiene que construir una celda de remediación, reduciendo costo, área, y simplificando la logística de los proyectos de remediación. Sin embargo se presentan problemas con esta tecnología debido a que las condiciones semisólidas que se crean en las presas, y la maquinaria utilizada no es adecuada para proveer condiciones suficientemente aerobias para los microorganismos oleofílicos empleados en la fase biológica del tratamiento. Debido a esto, las tasas de biodegradación son muy reducidas, prolongando el tratamiento, con sus consecuentes incrementos en costo debido a la renta de maquinaria, combustible y el pago de mano de obra. Por otra parte, las presas en donde están colocados los materiales en tratamiento, no son impermeables, y la mezcla constante de materiales en ellos, además de la aplicación de surfactantes puede provocar la movilización e infiltración de hidrocarburos, contaminando acuíferos, muchos de ellos siendo solo a unos tanto metros abajo del superficie en la región sur (de <1 m hasta 5 m, en general). El otro inconveniente de esta tecnología, a igual que la biorremediación, es la necesidad de estar mezclando constantemente el material durante la fase biológica, lo que incrementa los costos (maquinaria, combustible, mano de obra).

Composteo

Es una oxidación no específica de tejidos vegetales e hidrocarburos realizada por hongos y actinomicetos. Concurrentemente, hay una polimerización química espontánea de los subproductos de la oxidación microbiana, resultando en la formación de humus – una forma más estable y de baja toxicidad (humificación). Para implementar esta tecnología, se agregan acondicionadores, y maneja la humedad, temperatura, aireación y nutrición. La aplicación de esta tecnología es limitada debido al requerimiento de grandes cantidades de materia orgánica en la mezcla (típicamente de 70 %) y problemas logísticas en conseguir los volúmenes necesarios. Además, al agregar tanto material, se incrementa el costo del proyecto debido a que se requiere una celda más grande, y se tiene que manejar más material, incrementando los gastos de reactivos, renta de maquinaria, combustible y mano de obra. Solo se ha utilizado en dos sitios en el sur del país, en el campo Sánchez Magallanes, Tabasco y en el pantano de Santa Alejandrina, atrás de la Refinería Lázaro Cárdenas en Minatitlán, Veracruz.

Fitorremediación

La fitorremediación es el uso de plantas para inmovilizar contaminantes en el suelo y posteriormente destoxificar el material por reacciones de mineralización o humificación en procesos en donde participan las raíces de plantas así como los microorganismos asociados a la rizósfera. Es muy lento y hoy en día no es utilizado en México, sin embargo, hay experimentos preliminares en ambientes tropicales utilizando sobre todo pastos para el saneamiento de suelos contaminados con hidrocarburos (Zavala et al. 2002, Hernández y Pager 2003). No funciona para contaminación debajo de la zona de raíces, por ejemplo, en una presa de desechos; para ciertos tipos de sitios contaminados puede haber preocupación de migración de los contaminantes hacia terrenos adyacentes antes de que se logra remediar el sitio propio.

Discusión Sobre el Funcionamiento de la Invención:

Varios procesos físicos, químicos y biológicos son involucrados en el funcionamiento de esta tecnología. Durante el tratamiento inicial con óxidos de calcio es probable que sucede una reacción puzolánica entre este reactivo y los

silicatos argílicos en el suelo, sedimento o recorte a ser tratado, con la subsecuente formación de silicatos de calcio y aluminio, y silicatos cálcicos aluminicos hidratados (LaGrega *et al.* 1996). Este proceso ha sido utilizado para solidificar materiales de construcción (McKennon *et al.* 1994), así como para la macroencapsulación de
5 suelos contaminados con hidrocarburos y otros compuestos aceitosos, a veces agregando otros aditivos (como cenizas, sílice, cemento, polímeros o agentes hidrofobilizantes; Shimoda *et al.* 1989, Masuda *et al.* 2001, Kao *et al.* 2000, Ritter 1995, Weitzman and Hamel 1989, DuPont 1986, Al-Tabbaa y Evans 2003).

Entre las patentes de especial interés son: McKennon *et al.* (1994), para la
10 solidificación de suelos arcillos para construcción; Shimoda *et al.* (1989), que emplea cal viva y/o dolmita calcinada en combinación con polímero (PFTE) para la estabilización de suelo contaminado con hidrocarburos; Masuda *et al.* (2001), que utiliza óxidos de calcio y derivados para la estabilización de suelo contaminado con dioxinas y PCBs; Kao *et al.* (2000), que combina una mezcla de aditivos como óxidos
15 de calcio y un proceso de calentamiento en hornos para inmovilizar contaminantes orgánicos e inorgánicos; y Ritter (1995), que agrega agentes hidrofobilizantes con cal para rendir sustancias de desecho inofensivos. Sin embargo, estos métodos solo estabilizan suelos con concentraciones relativamente bajas de contaminantes orgánicos y resultan en sólo un tratamiento parcial. En ninguna de estas patentes se
20 contempla el uso de la mezcla de óxidos de calcio con acondicionadores orgánicos para la estabilización de materiales contaminados con hidrocarburos o contaminantes aceitosos.

Durante la siguiente fase del tratamiento, cuando se agregan los acondicionadores orgánicos, la absorción es probablemente el proceso involucrado,
25 por lo menos inicialmente. Se ha mostrado que la absorción de contaminantes orgánicos en suelo se debe principalmente al contenido de materia orgánica (Chiou *et al.* 1979), sobre todo las sustancias húmicas (Bogan *et al.* 2003), y varios materiales, sobre todo de origen vegetal, han sido empleados como absorbentes para el tratamiento de aguas y aguas residuales (Pérez *et al.* 2002, Choi 1996,
30 Varghese y Cleveland 1998, Deschamps *et al.* 2002). Entre las patentes de interés en este contexto, se encuentra la de Pérez *et al.* (2002), en la cual se menciona el

uso de bagazo de caña para el tratamiento de agua contaminado con petróleo. Algunos estudios también indican que el tipo de materia húmica es importante en la absorción de compuestos orgánicos en el suelo (vea a Gauthier, 1987, por ejemplo) y se ha propuesto agregar sustancias húmicas refinadas para la remediación de
5 suelos contaminados con compuestos xenobióticos (Fukushima *et al.* 2002).

Posterior a la absorción de los hidrocarburos a los acondicionadores orgánicos, es probable que sucedan una serie de reacciones químicas y biológicas. Algunos de los hidrocarburos más disponibles probablemente son mineralizados, estos tipos de hidrocarburos son fácilmente biodegradados (Altas 1986, Xie y
10 Barcelona 2003). Sin embargo, es probable que una cantidad considerable de los hidrocarburos es secuestrado en reacciones de humificación, así reduciendo la disponibilidad y toxicidad relativa de los mismos (Alexander 1995, Kelsey y Alexander 1997, Barr y Aust 1994, Paul y Clark 1989, Bohn *et al.* 2001, Ehlers y Luthy 2003, Bogan y Sullivan 2003, White *et al.* 1999).

Varios investigadores también han propuesto la adición de materiales orgánicos a suelos contaminados para estimular el tratamiento por microorganismos, a través de la absorción al acondicionador orgánico y la subsecuente descomposición de la materia vegetal y contaminante orgánico, sea por mineralización o por reacciones de humificación (Breitenbeck y Grace 1997, Valo *et al.* 1991, Bradley *et al.* 1996, Grey *et al.* 2000, Gill 1996, Torstensson y Castillo
20 1997).

Las patentes importantes en este contexto son: Bradley *et al.* (1996), que sugiere el uso de pulpa de betabel de azúcar enriquecida para incrementar su contenido de nitrógeno, en combinación con hongo tipo pudrición blanca ("white rot
25 fungi") para descomposición de compuestos aromáticos, incluyendo hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) y compuestos aromáticos clorados; Valo *et al.* (1991), sobre el tratamiento de suelo contaminado por clorofenol, con *Rhodococcus* y *Mycobacterium*, en un proceso en donde se genera calor por composteo (para incrementar tasa de biodegradación), y en donde la bacteria está inmovilizada en un
30 soporte de poliuretano; Grey *et al.* (2000), que usa el composteo para la descomposición del xenobiótico metoxiclor; y Gill (1996), que trata de la inoculación

de desechos de algodón con suelo contaminado, composteo del material, mezcla del material composteado con suelo contaminado (a proporciones de 1:1 a 1:5) más aceleradores químicos, y maduración a temperatura ambiente, así como el composteo de materia orgánica utilizado como absorbente de contaminantes. A diferencia a la estabilización química-biológica aquí propuesta, estos investigadores han utilizado principalmente técnicas de *composteo* que emplean concentraciones de acondicionadores mucho mayores (en el orden de 30 – 70 % de materia orgánica, en vez de 1 – 10 %) en un proceso cualitativamente diferente, o proponen la aplicación de materiales orgánicos modificados en vez de materiales sin modificar.

10 Durante el periodo de maduración en el tratamiento el papel de las rizósfera probablemente es importante. Las raíces de plantas ayudan a la biorremediación a través de varios procesos. Inicialmente son importantes porque asimilan sustancias orgánicas, como hidrocarburos, efectivamente inmovilizándolas entre las raíces. Posteriormente, estimulan la mineralización microbiana por la producción de exudados de las raíces que sirven como cosustratos para microorganismos oleofílicos. También cuando crecen las raíces abren la tierra, mejorando las condiciones de aireación y drenaje. Varios de estos procesos también estimulan los microorganismos importantes en reacciones de humificación de contaminantes. Por ejemplo, muchos materiales de la raíces, sobre todo los que contienen lignina sirven como alimentos para los actinomicetos y hongos, los microorganismos principalmente involucrado en la producción del humus del suelo. Adicionalmente, algunas plantas tienen enzimas que inician la descomposición de algunos hidrocarburos, sobre todo la fracción aromática (Zavala *et al.* 2002, Adams y Castillo 2004, Adams y Castillo 2000, Drake 1997, Drake 1997a, Schnoor *et al.* 1995, Carman 1997, Carman *et al.* 1997, Hernández y Pager 2003). Después de algunos meses es común observar una vegetación herbácea vigorosa, siendo un aspecto importante de este método, en que demuestra no solo destoxificación del suelo o recorte, pero también mejoras en la productividad del mismo.

Beneficios de la Invención:

30 Empleando criterios comúnmente considerados para las tecnologías de estabilización, este método efectivamente deja el suelo o recorte remediado. El

material tratado solo presenta concentraciones bajas de hidrocarburos, y los restantes están completamente secuestrados: el material presente prácticamente nula concentración de lixiviados (< 1ppm de HTP en el extracto), y normalmente no presenta HAPs cancerígenos. De igual manera, la toxicidad en el material tratado, utilizando el bioensayo de *Photobacterium*. (NMX-AA-112-1995-SCFI) es nulo o a veces el material hasta estimula el organismo de prueba. Este bioensayo es una herramienta efectiva para determinaciones de toxicidad y aproxima la toxicidad a mucho vertebrados e invertebrados terrestres y acuáticos (Doherty 2001). Esto, combinado con las mejoras en la fertilidad del suelo, hace de esta tecnología una muy prometedora para la remediación.

Hay varios beneficios de esta tecnología en comparación a las tecnologías utilizadas actualmente en el país. Es una tecnología relativamente sencilla pero efectiva, que emplea materiales, reactivos, maquinaria y experiencia laboral de la misma región en donde se genera la mayoría de desechos de perforación y donde se encuentran la mayoría de derrames de aceite en el país. Esto es importante por que libera el país de la dependencia de importación, y los costos elevados que esto genera. Por otra parte, es suficientemente sencillo que puede ser implementado eficientemente con personal no especializado y con costumbres laborales poco detallistas. Adicionalmente, no es necesario la constante mezcla de materiales como en otras tecnologías de remediación comúnmente utilizada en la región, tales como la biorremediación y el "tratamiento por degradación bioquímica", evitando los costos asociados (renta de maquinaria, combustible, mano de obra, gastos administrativos). Otro beneficio importante de esta tecnología es que no solo destoxifica el suelo o recorte de perforación, sino mejora las propiedades edafológicas del mismo por la aplicación de los acondicionadores orgánicos, mejorando la fertilidad y la producción agropecuaria de los mismos.

Es importante mencionar que no solo funciona para suelo, pero también es posible convertir recortes de perforación en materiales productivos en términos agropecuarios utilizando este método. Los recortes de perforación generalmente tienen concentraciones demasiadas bajas de materia orgánica, carecen de la estructura del suelo y demuestran drenaje interno pobre, todo esto resultando en una

muy baja fertilidad. Después de varios meses de tratamiento por esta tecnología, se observa una estructura interna del material no de un recorte, sino de un suelo con condiciones edafológicas productivas, y se demuestra un crecimiento vigoroso de pastos y vegetación herbácea.

5 Comparación con Otras Patentes y Procesos:

Se han desarrollado métodos para el tratamiento de aguas residuales contaminadas con compuestos orgánicos y metales, utilizando compuestos húmicos así como desechos agrícolas, pero estos métodos no se han aplicado al tratamiento de suelos contaminados. Además, no se incorporan óxidos de calcio en el proceso (Pérez *et al.* 2002, Choi 1996, Varghese y Cleveland 1998, Deschamps *et al.* 2002). Por otra parte, existen varios patentes que emplean óxidos de calcio para el tratamiento de suelos contaminados con diferentes compuestos orgánicos y metales, pero no en combinación con acondicionadores orgánicos. Existe una patente en donde se combina la cal con un polímero y uno que utiliza cal modificada con ácidos grasos (Shimoda *et al.* 1989, Masuda *et al.* 2001, Kao *et al.* 2000, Ritter 1995).

Con respecto al uso de acondicionadores orgánicos, existen varias patentes que emplean estos para tratamiento en procesos de composteo (compostaje, o composting). Sin embargo, el proceso que están empleando es cualitativamente diferente al método propuesto en esta solicitud de patente. En aquellos métodos, el material es tratado por mineralización y sobre todo humificación, y por lo mismo requieren concentraciones elevadas (aproximadamente ≥ 70 %) de acondicionadores orgánicos, mientras que el proceso propuesto es una estabilización biológica (absorción, quelación, e integración en los agregados del suelo) y requiere concentraciones de acondicionadores mucho menores (< 10 %). Por otra parte, algunos de los procesos patentados utilizan solo materiales orgánicos modificados en vez de frescos. Además, los procesos de composteo no incorporan tratamiento con óxidos de calcio. (Breitenbeck y Grace 1997, Valo *et al.* 1991, Bradley *et al.* 1996, Grey *et al.* 2000, Gill 1996, Torstensson y Castillo 1997).

Bibliografía

30 Patentes

1. Bradley, C. A., Kearns, R. D., Wood, P. P. and Black, W. E. 1996. Bioremediation Method Using a High Nitrogen Containing Culture of White Rot Fungi on Sugar Beet Pulp. Patent No. 5486474. United States Patent Office.
2. Gill, P. E. 1996. Process for Bioremediation of Soils. Patent No. 5525139. United States Patent Office.
3. Grey, N. C., Moser, G. P., Moser, L. E. 2000. Compost Decontamination of Soil Contaminated with Methoxychlor. Patent No. 6060292. United States Patent Office.
4. Kao, R. Lee, A. L., Mensinger, M. C., Randhava, S. S., Randhava, S. S. y Rehmat, A. G. 2000. Process for Preparing Environmentally Stable Products by Remediation of Contaminates Soils and Sediments. Patent Application No. 97953412. European Patent Office.
5. Masuda, S., Shimme, K. and Kubo, T. 2001. Method for Treating Hazardous Material. Patent Application No. PCT/JP00/05236. World Intellectual Property Organization.
6. McKennon, J. T., Hains, N. L., and Hoffman, D. C. 1994. Method for Stabilizing Clay Bearing Soils by Addition of Silica and Lime. Patent Application No. PCT/US93/08351. World Intellectual Property Organization.
7. Pérez M., L., Ávila P., P., López V. H., y Jose Y., M. 2002. Material Extrayente para Descontaminación de Cuerpos de Agua y Aguas Residuales a Partir de Bagazo de Caña. Aplicación de Patente No. PA/a/1999/004699. Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial.
8. Ritter, R. A. 1995. Method for Rendering Waste Substances Harmless. Patent Application No. 95250091. European Patent Office.
9. Shimoda, T., Katuaki, I., Urano, T. Hiroshi, M. and Ogura, M. 1989. A Soil-Stabilizing Agent and Method for Soil-Stabilizing Treatment. Patent Application No. 88117396. European Patent Office.
10. Valo, R.J., Häggblom, M. M., Salkinoja-Salonen, M. 1991. Process and Means for the Microbiological Remediation of Polluted Soil and Microorganisms for said Process. Patent Application No. 90903838. European Patent Office.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

El proceso de estabilización química-biológica para la remediación de suelo y recortes contaminados con aceites y derivados del petróleo, consiste en la aplicación de una secuencia de pasos, así como la utilización de óxidos de calcio y acondicionadores para lograr la transformación del contaminante orgánico en un material inofensivo, todo esto se emplea tal como se indica en la presente descripción.

El área en la cual se tratará el material contaminado, lo llamaremos celda, esta celda se emplea para evitar escurrimientos de hidrocarburos al subsuelo o a terrenos adyacentes, estas celdas son de materiales y diseños típicos de la biorremediación por land farm.

La celda cuenta con dimensiones suficientes en área para poder acomodar todos los materiales a tratar, así como los acondicionadores que se van a agregar a una altura no mayor a 50 centímetros aproximadamente. Es importante que la celda sea nivelada con un pendiente de aproximadamente 1-2% hacia una fosa de lixiviados. En la mayoría de los suelos es recomendable emplear una membrana de por lo menos 30 mil (aprox. 0.76 mm) de grosor, de polietileno de alta densidad (HDPE) sellado térmicamente. En suelos muy arcillosos y compactados puede ser no necesario el empleo de la membrana, siempre cuando se confirma con un estudio geotécnico. Además de estas consideraciones, es importante que el área de trabajo esté rodeado por bordos de un mínimo de 1-2 metros de altura.

Una vez lista la celda se coloca los materiales contaminados tales como el suelo y/o sedimento y/o recorte, a esto se le agrega un reactivo químico que contenga óxido de calcio en concentraciones suficientes para producir condiciones alcalinos (ph de aproximadamente 9 a 12), este reactivo puede ser monóxido de calcio (cal viva) y/o hidróxido de calcio (cal hidratada), o cualquier combinación de estos mismos, provenientes de formulaciones o de fuentes minerales naturales. La concentración de óxido de calcio resultado de la mezcla del reactivo químico más el suelo y/o el sedimento y/o recorte con un reactivo químico que contiene óxido de calcio es en el intervalo de 1 a 10% en base al peso seco de la mezcla.

Se mezclan perfectamente los materiales hasta lograr su homogeneización, se humedece a un porcentaje aproximado de 70 a 100% de la capacidad del campo del material, se mezcla completamente y se deja reposar esta mezcla por un tiempo determinado, este periodo de tiempo puede variar en un intervalo de 2 horas a 180 días naturales.

Una vez transcurrido este periodo, se agregan a la mezcla los acondicionadores orgánicos en una concentración aproximada de 1 a 15% en base al peso seco de la mezcla. Una vez mezclado completamente, el material en tratamiento, es colocado sobre una capa de arena, grava, suelo arenoso o material similar para mejorar el libre desagüe del material en tratamiento y mantener condiciones aerobias; el espesor de material de drenaje es de 5 a 30 centímetros y el espesor de la capa del material en tratamiento colocado encima es de aproximadamente de 5 a 150 centímetros. A veces se puede agregar nutrientes inorgánicos a la mezcla en tratamiento para estimular la actividad biológica microbiana y vegetal.

Una vez preparada la celda, no se mezclan los materiales, se dejan reposar para madurar a través de procesos de mineralización y humificación durante un periodo variable entre 15 a 730 días naturales. Para esta parte del tratamiento se puede sembrar con vegetación o dejar sembrar naturalmente con malezas nativas del medio. Durante la fase de maduración la celda es monitoreada periódicamente.

El proceso de estabilización química-biológica para la remediación de suelo y recortes contaminados con aceites y derivados del petróleo fue aplicado para su estudio en varias muestras. Para la comprensión de este proceso, se anexa un ejemplo enunciativo mas no limitativo de su aplicación, en este ejemplo se utiliza el proceso en un suelo con derrame de petróleo o derivados, recortes de perforación petrolera que contienen concentraciones residuales de hidrocarburos derivados de los lodos de perforación.

En el cual el material contaminado es excavado si es necesario, utilizando maquinaria pesada como excavadora, dragas, retroexcavadoras, cargadores frontales, etc., y colocado sobre un área preparada previamente para el tratamiento del material. Esta área, llamada "celda" en esta solicitud de patente es condicionada

previamente para evitar el escurrimiento de hidrocarburos al subsuelo o a terrenos adyacentes utilizando materiales y diseños típicos de la biorremediación por land farm. Al material a descontaminar se agrega óxidos de calcio en concentraciones suficientes para producir condiciones alcalinas (pH de aprox. 9-12) típicamente
5 siendo de 1 a 10 %. La mezcla es homogeneizada con maquinaria pesada como la antes descrita y posteriormente humedecida a un porcentaje específico (aprox. 70 - 100 de la capacidad del campo del material), mezclando completamente y dejando reposar por un periodo específico.

Subsecuentemente, se agregan acondicionadores orgánicos tales como, pero
10 no limitado a, aserrín, cáscara de coco, cáscara de arroz, cáscara de trigo, cáscara de cacao, cachaza de caña, bagazo de caña, desechos de eucalipto o bambú, entre otros, en concentraciones de aprox. 1 – 15 %.

Alternativamente, los pasos anteriores de añadir óxidos de calcio, homogeneizar, y añadir acondicionadores orgánicos y homogeneizar, se puede
15 realizar en presas en vez de en una celda, si es más conveniente, por ejemplo, si los materiales contaminados se encuentran en presas. Esto es especialmente conveniente cuando se trata recortes de perforación y otros desechos aceitosos que típicamente se depositan en presas para su almacenamiento temporal.

Una vez mezclado completamente, el material en tratamiento es colocado
20 sobre una capa de arena, grava, suelo arenoso o similar material para mejorar el libre desagüe del material en tratamiento y mantener condiciones aerobias. Típicamente, el espesor de material de drenaje que puede ser arena, grava, entre otros, es de 5 – 30 cm y el espesor de material en tratamiento colocado encima es de aproximadamente de 10 – 70 cm. A veces, si es necesario, se puede agregar
25 nutrientes inorgánicos a la mezcla en tratamiento para estimular la actividad biológica microbiana y vegetal.

Una vez que el material a en tratamiento está extendida para su maduración, no se mezclan los materiales, sino se dejan reposar para madurar a través de procesos de mineralización y humificación durante un periodo específico, por
30 ejemplo de tres a 12 meses. Para este parte del tratamiento se puede sembrar con vegetación o dejar sembrar naturalmente con malezas nativas del medio. Es común

observar el crecimiento vigoroso de vegetación herbácea después de algunos meses.

Durante la fase de maduración, la celda es monitoreada periódicamente, como por ejemplo a un mes, tres meses, seis meses y a 12 meses. Las muestras son analizadas para comprobar la efectividad de la remediación en base a los criterios en la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), arts. 134, fracc. V, art. 136, fraccs. II, III y IV, y art. 152-BIS, así como en el NOM-EM-138-ECOL-2002, num. 8.3.4, utilizando las siguientes pruebas:

- 10 • análisis de hidrocarburos totales de petróleo (HTPs), métodos EPA 418.1 o EPA 8015m o EPA 9074, con un criterio aceptable de ≤ 1.5 % HTPs
- análisis de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs), métodos EPA 8270 o EPA 8310, con un criterio aceptable de acuerdo a un estudio de riesgo o en una intervalo natural para la región en donde es aplicado (aprox. 2 – 10 ppm)
- 15 • análisis de toxicidad por bioensayos como NMX-AA-112-1995-SCFI (*Photobacterium*) o NMX-AA-087-1995-SCFI (*Daphnia*), siendo no toxico o en el rango natural de la región en donde es aplicado
- análisis de lixiviados utilizando el procedimiento "PECT" del análisis CRETI (NOM-MX-052-ECOL) y analizando el extracto para HTP según el método EPA 418.1 o EPA 8015m, siendo ≤ 1 ppm de HTP en el extracto el criterio de remediación
- 20 • con criterios adicionales de pH de 6 – 9
- y considerando fertilidad, según crecimiento del vegetación o por análisis edafológicos (capacidad de intercambio catiónico, capacidad de campo, carbono orgánico, densidad aparente, nitrógeno total, fósforo disponible)
- 25

Todo lo anterior para mostrar destoxificación (prevención de alteraciones en los procesos biológicos en el suelo – en cumplimiento con la LGEEPA, art.136, fracc. II, y prevención de riesgos a la salud – LGEEPA art.136, fracc. IV), conservación de utilidad o fertilidad (prevención de alteraciones en el uso o explotación del suelo –

30 LGEEPA, art.136, fracc. III).

Habiendo descrito el presente invento, se considera como una novedad y, por lo tanto, se reclama como propiedad lo contenido en las siguientes:

REIVINDICACIONES

1. Un proceso de estabilización química-biológica para la remediación de suelo y recortes contaminados con aceites y derivados del petróleo, en el cual se logra la transformación del contaminante orgánico en un material inofensivo. El proceso de tratamiento del material contaminado se lleva a cabo en un área, el cual llamaremos celda, esta celda se emplea para evitar escurrimientos de hidrocarburos al subsuelo o a terrenos adyacentes, estas celdas son de materiales y diseños típicos de la biorremediación por land farm. La celda cuenta con dimensiones suficientes en área para poder acomodar todos los materiales a tratar, así como los acondicionadores que se van a agregar a una altura no mayor a 50 centímetros aproximadamente. Es importante que la celda sea nivelada con un pendiente de aproximadamente 1-2% hacia una fosa de lixiviados. En la mayoría de los suelos es recomendable emplear una membrana de por lo menos 30 mil (aprox. 0.76 mm) de grosor, de polietileno de alta densidad (HDPE) sellado térmicamente. En suelos muy arcillosos y compactados puede ser no necesario el empleo de la membrana, siempre cuando se confirma con un estudio geotécnico. Además de estas consideraciones, es importante que el área de trabajo esté rodeado por bordos de un mínimo de 1-2 metros de altura, el proceso se caracteriza porque posteriormente a la preparación se coloca el material contaminado en la celda, tales como el suelo y/o sedimento y/o recorte, a esto se le agrega un reactivo químico que contenga óxido de calcio en concentraciones suficientes para producir condiciones alcalinas (ph de aproximadamente 9 a 12). La concentración de óxido de calcio resultado de la mezcla del reactivo químico más el suelo y/o el sedimento y/o recorte con un reactivo químico que contiene óxido de calcio es en el intervalo de 1 a 10% en base al peso seco de la mezcla. Se mezclan perfectamente los materiales hasta lograr su homogeneización, se humedece a un porcentaje aproximado de 70 a 100% de la capacidad del campo del material, se mezcla

- completamente y se deja reposar esta mezcla por un periodo de tiempo que puede variar dentro de un intervalo de 2 horas a 180 días naturales. Una vez transcurrido este periodo, se agregan a la mezcla los acondicionadores orgánicos en una concentración aproximada de 1 a 15% en base al peso seco de la mezcla. Una vez mezclado completamente, el material en tratamiento, es colocado sobre una capa de arena, grava, suelo arenoso o material similar para mejorar el libre desagüe del material en tratamiento y mantener condiciones aerobias; el espesor de material de drenaje es de 5 a 30 centímetros y el espesor de la capa del material en tratamiento colocado encima es de aproximadamente de 5 a 150 centímetros, se puede agregar nutrientes inorgánicos a la mezcla en tratamiento para estimular la actividad biológica microbiana y vegetal. Una vez preparada la celda, no se mezclan los materiales, se dejan reposar para madurar a través de procesos de mineralización y humificación durante un periodo variable entre 15 a 730 días naturales. Para esta parte del tratamiento se puede sembrar con vegetación o dejar sembrar naturalmente con malezas nativas del medio. Durante la fase de maduración la celda es monitoreada periódicamente.
2. El proceso descrito en la reivindicación 1 caracterizado porque el proceso puede ser cíclico o repetitivo.
 3. El proceso descrito en la reivindicación 1, caracterizado porque, se repite la mezcla del suelo y/o sedimento y/o recorte con un reactivo químico que contiene óxido de calcio, así como el reposo de la mezcla del reactivo químico más suelo y/o sedimento y/o recorte.
 4. El proceso descrito en la reivindicación 1, caracterizado porque, se repite el paso de agregar acondicionadores orgánicos a la mezcla del reactivo químico más suelo y/o sedimento y/o recorte, para posteriormente extender el material homogeneizado en una capa para su maduración.
 5. El proceso descrito en la reivindicación 1, caracterizado porque los óxidos de calcio utilizados en la mezcla son preferentemente el monóxido de calcio (cal viva), el hidróxido de calcio (cal hidratada), o cualquier combinación de estos mismos, provenientes de formulaciones o de fuentes minerales naturales.

6. El proceso descrito en la reivindicación 1, caracterizado porque el reactivo químico aplicado en la mezcla contiene sustancias que se convierten en óxidos de calcio cuando están en contacto con suelo, sedimento, recorte, humedad de agua, o agua en forma libre.
- 5 7. El proceso descrito en la reivindicación 1, caracterizado porque los acondicionadores que se agregan a la mezcla de reactivo químico con los otros materiales consisten en aserrín, cáscara de copra, paja, alfalfa, cáscara de arroz, desechos de piña, desechos de cítricos, pasto, vegetación pantanosa, turba orgánica, desechos de bambú, desechos de eucalipto,
- 10 desechos de plátano, cachaza de caña de azúcar, bagazo de caña de azúcar, cáscara de cacao, estiércol de vaca, estiércol de caballo, estiércol de puerco, estiércol de cabra, o mezclas de los mismos.

15

20

25

30